

## RESEÑA SOBRE MODALIDADES DE ESTUDIO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MICROALGAS EN LA EVALUACIÓN Y MONITOREO DE ALGUNOS SISTEMAS LÓTICOS PAMPEANOS BONAERENSES<sup>1</sup>

NORA GÓMEZ<sup>2,3</sup>, MAGDALENA LICURSI<sup>2,3</sup>, DELIA E. BAUER<sup>2,4</sup>,  
PAULA R. HUALDE<sup>2,5</sup> y MARÍA VICTORIA SIERRA<sup>2,5</sup>

**Summary:** Review about modalities of study using microalgae in the evaluation and monitoring of some lotic systems from the province of Buenos Aires. The pampean plain's running waters are exposed to strong antropogenic activities (agriculture, cattle-raising and industry), showing different environmental problems such as enrichment with organic matter and nutrients and contamination with industrial wastes. The particular features of the pampean streams and rivers require the development of suitable methodology and indices for water quality monitoring. The purpose of this paper is to outline some possibilities offered by the planktonic and benthic algae for the diagnosis of water quality and their implementation in biomonitoring. The investigations were carried out in lotic ecosystems of the province of Buenos Aires and in the coast of the Río de la Plata (southern coastal fringe). Two different types of strategies are exposed, extensive and intensive studies, which differ in the temporal and spatial scales employed. The results of these investigations have contributed with a first approach to the diagnosis of the ecological status of the studied basins.

**Key words:** biomonitoring, phytoplankton, phytobenthos, running waters, pampean plain.

**Resumen:** Los ríos y arroyos pampeanos están expuestos a una fuerte actividad antropogénica (agrícola, ganadera e industrial) mostrando diferentes problemáticas ambientales, desde enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes hasta contaminación con desechos industriales. Las características particulares de los ríos y arroyos pampeanos hacen necesario el desarrollo de metodologías e índices apropiados para monitorear la calidad del agua. El propósito de este trabajo es reseñar algunas posibilidades que ofrecen las algas del plancton y del bentos en el diagnóstico de la calidad del agua y su implementación en el biomonitoreo de ecosistemas lóticos bonaerenses y de la costa del Río de la Plata (franja costera sur). Se exponen dos tipos de estrategias, estudios extensivos e intensivos, que difieren en las escalas temporal y espacial. Los resultados de estas investigaciones constituyen una primera aproximación al diagnóstico del estado ecológico de las cuencas estudiadas.

**Palabras clave:** biomonitoreo, fitoplancton, fitobentos, sistemas lóticos, llanura pampeana.

### INTRODUCCIÓN

Los ríos y arroyos que nacen en la llanura o bien en serranías con escasa pendiente, difieren en estructura y función de aquellos que lo hacen en sistemas montañosos. Para comprender dichas diferencias basta con rever el esquema del "River continuum" propuesto por Vanotte *et al.* (1980) y los nuevos puntos de vista acerca del mismo formulados por Craig (2002). Estas diferencias son decisivas al momento de diseñar e implementar metodologías de biomonitoreo.

La llanura pampeana abarca un extenso territorio con un paisaje predominantemente plano, interrumpido por algunas serranías, donde los ríos y arroyos discurren sobre una superficie de escasa pendiente. Con excepción de las cabeceras de los arroyos que tienen sus nacientes en las sierras, el resto está caracterizado por presentar sedimentos de granometría fina (arcillas, limos y arena) propios de ambientes deposicionales con una moderada a baja velocidad de la corriente. Dentro de la biota de estos ecosistemas, el fitoplancton y el epipelón alcanzan un buen desarrollo que los hace viables para su empleo en biomonitoreo.

La Pampa argentina es la zona agrícola-ganadera por excelencia del país y en ella se asientan los mayores conglomerados humanos. Las redes hídricas sufren una fuerte presión antrópica, mostrando distintas problemáticas ambientales que van desde el enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes hasta la contaminación con productos de desecho

<sup>1</sup> Dedicado al Prof. Dr. Sebastián A. Guarrera en ocasión de su 90° aniversario.

<sup>2</sup> Instituto de Limnología Dr. R. A. Ringuelet, CONICET-UNLP, Av. Calchaquí km 23,5 (1888) Florencio Varela. Contribución Científica N° 723.

<sup>3</sup> CONICET.

<sup>4</sup> CIC.

<sup>5</sup> UNLP.

de la actividad industrial. La Franja Costera Sur del Río de la Plata es la receptora de una parte de los ríos y arroyos que surcan la Pampa, siendo fuente de provisión de agua para la numerosa población asentada en su margen. Esta, además, es un área de alto riesgo ecológico por el intenso tránsito naviero que generan los Puertos de Buenos Aires y La Plata.

En la literatura existe una copiosa información relacionada con el monitoreo de sistemas lóticos a partir del empleo de algas, referida principalmente a ríos y arroyos del Hemisferio Norte, reportada por Whitton *et al.* (1991), Whitton & Rott (1996), Prygiel *et al.* (1999) y Stevenson & Bahls (1999), entre otros. Sin embargo, el empleo de metodologías generadas en otras latitudes no siempre resulta apropiado, ya sea porque la ficoflora es disímil o bien porque pueden diferir las respuestas de las algas a los factores ambientales.

Entre los trabajos ficológicos referidos al área pampeana citados por Loez & Topalián (1999) y Gómez & Bauer (2000), son pioneros los de Guarrera *et al.* (1968, 1972) que sentaron las bases para el conocimiento sistemático y de la ecología de las algas que pueblan los ecosistemas pampeanos. Sin embargo y de acuerdo con la recopilación bibliográfica realizada por Loez & Topalián (1999), las referencias que relacionan las algas con la contaminación son escasas. Estos autores reconocen que en los sistemas de monitoreo no ha sido considerado el uso de algas, resaltando también falta de medidas de protección de las mismas por parte de los entes gubernamentales responsables de la conservación de los recursos naturales en la Argentina.

Un apartado especial merece el Río de la Plata por sus características de ecosistema fluvio-marino y por ser receptor final de la cuenca del Plata. Los primeros intentos en conocer la diversidad y la ecología de las microalgas que pueblan el sector fluvial de este río fueron realizados por Frenguelli (1941), Guarrera (1950) y Guarrera & Kühnemann (1951-1952). Estos últimos particularmente constituyen un aporte relevante ya que permiten conocer aspectos relacionados con la autoecología de las algas del Río de la Plata, sentando una línea de base para la interpretación del valor indicador de las mismas.

El objetivo del presente trabajo es reseñar algunas modalidades de estudio y resultados obtenidos por nuestro grupo de trabajo. Las investigaciones desarrolladas centran su interés en el estudio de microalgas como herramienta para la evaluación y monitoreo de la calidad del agua en ríos y arroyos de la provincia de Buenos Aires y Río de la Plata.

## ÁREA DE ESTUDIO Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS LÓTICOS ANALIZADOS

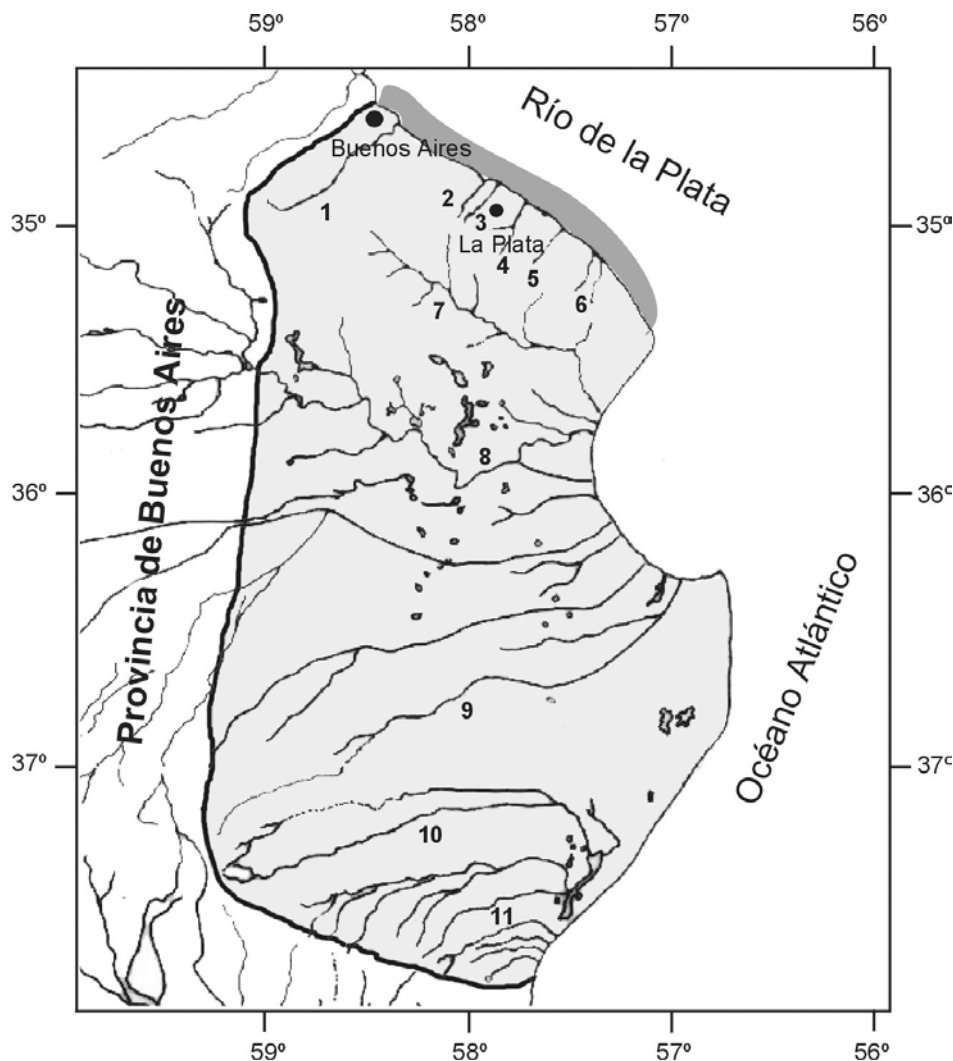
El área de estudio en la que se realizaron las investigaciones incluye a los sistemas lóticos ubicados en el Este de la provincia de Buenos Aires, entre los 34° 51' - 37° 59' S y 57° 21' - 59° 08' O (Fig. 1). Sólo una superficie muy reducida de esta área es ocupada por sierras que escasamente superan los 500 m.s.n.m, pertenecientes al sistema serrano de Tandilia. Las pendientes están en el orden de aproximadamente  $10^{-3}$  m. km.<sup>-1</sup> o levemente inferiores (Sala *et al.*, 1983).

Los ríos y arroyos estudiados presentan dos tipos de nacientes:

- localizadas en las Sierras de Tandil, en las que el agua subterránea fluye a través de rocas de basamento
- ubicadas en la llanura, donde el agua freática fluye hacia la superficie a través de sedimentos conformados por limos, arenas y arcillas con distinto grado de compactación, pertenecientes a depósitos conocidos como "Pampeano" y "Postpampeano".

En general en los arroyos y ríos de la planicie las superficies tributarias no están bien definidas, el tipo de drenaje se asemeja a un sistema semidesértico pese a tratarse de una llanura húmeda, presentando una alta frecuencia de meandros. La estructura de disipación o de escurrimiento es anárquica. El diseño es de tipo dendrítico y rara vez supera el orden cuatro. En muchos casos estos sistemas son canalizados en su cuenca baja con el fin de facilitar su llegada al Río de la Plata o al mar (Sala *et al.*, 1983).

Los estudios del área costera argentina del Río de la Plata se realizaron en la zona comprendida entre la línea de costa y los 10 km. desde la misma, entre las localidades de San Fernando (34° 26' S-58° 21' O) y Magdalena (35° 01' S-57° 29' O) (Fig. 1). Esta zona se caracteriza por un contenido salino inferior a 0.5 ‰, una baja energía de olas y una alta concentración de sólidos en suspensión, representados particularmente por limos y arcillas. La existencia de un ciclo de mareas diario y la influencia del viento genera condiciones cambiantes en las características físicas, químicas y biológicas de este ecosistema.



**Fig. 1.** Área de estudio en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires y su sector costero. 1: Cuenca Matanza-Riachuelo, 2: A° Rodríguez, 3: A° El Gato, 4: A° El Pescado, 5: A° Buñirigo, 6: A° Juan Blanco, 7: Río Samborombón, 8: Río Salado, 9: A° Tandileofú, 10: A° Napaleofú, 11: A° Vivoratá. La zona sombreada en la costa bonaerense corresponde al área muestreada en la Franja Costera Sur del Río de la Plata.

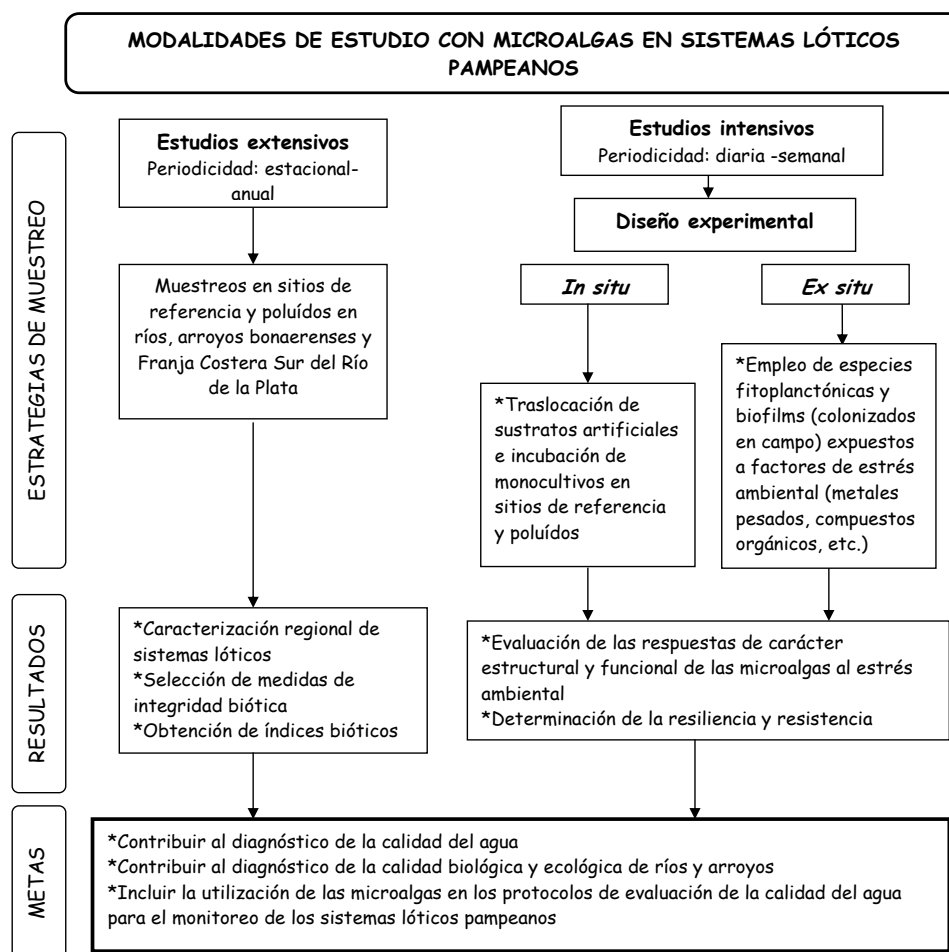
## MODALIDADES DE ESTUDIO

Con el fin de explorar las distintas posibilidades que ofrecen las microalgas en el diagnóstico de la calidad del agua y su implementación en el biomonitoreo para el área pampeana argentina, se plantearon dos tipos de estrategia: estudios extensivos e intensivos. Estos difieren entre sí en las escalas de tiempo y espacio empleadas y en la metodología utilizada, permitiendo obtener distinto tipo de resultados que convergen en el diagnóstico del estado en que se encuentran las cuencas (Fig. 2).

## ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS Y SUS ALCANCES EN EL DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA

### *Estudios extensivos*

En los estudios extensivos se incluyó la caracterización de los arroyos y ríos a partir del empleo de fitoplancton y fitobentos y de variables físico-químicas. Para estos estudios se implementaron muestreos estacionales dentro de un área de 50.000 km<sup>2</sup> aproximadamente, entre los años 1997 y 2000.



**Fig. 2.** Esquema que ilustra las modalidades de estudio adoptadas para el diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua a partir del uso de microalgas en algunos ambientes lóticos pampeanos.

Ellos permitieron una caracterización general del área, facilitando detectar distintas problemáticas ambientales a las que están sometidas las redes hídricas involucradas. Se establecieron 27 estaciones de muestreo emplazadas en la cuenca alta, media y baja de 10 arroyos y ríos. A la información suministrada por estos muestreos se adicionó la proveniente de 23 estaciones de muestreo ubicadas en la cuenca del río Matanza-Riachuelo, correspondiente al año 1995 (Gómez, 1998, 1999). Para cada sitio de muestreo se colectaron muestras de fitoplancton y fitobentos, midiéndose en el campo velocidad de la corriente (correntímetro Global Water), conductividad (conductímetro Lutron CD-4303), turbidez (Turbidity Meter Model 800), pH (pHmeter Hanna HI 8424) y oxígeno disuelto (ESD 600). También se colectaron muestras de agua para la determinación de iones mayoritarios, demanda biológica de oxígeno, deman-

da química de oxígeno y nutrientes (APHA, 1998; Mackereth *et al.*, 1978; Tabatabai, 1974).

Con la finalidad de explorar las preferencias ambientales de las diatomeas epipélicas se correlacionaron los datos de esta taxocenosis con la base de datos físico-químicos. Estos resultados permitieron generar espectros de tolerancia de las especies a algunas variables ambientales. Licsursi & Gómez (2002) exponen la información procedente de tres arroyos de los alrededores de la ciudad de La Plata sometidos a distintos grados de contaminación. Los resultados obtenidos demostraron que más del 50 % de las especies tuvieron preferencia por sitios con valores de conductividad inferiores a 600  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y moderada concentración de materia orgánica y nutrientes ( $\text{DBO}_5$  1.5-15  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  0.5-0.9  $\text{mg l}^{-1}$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$  0.025-0.5  $\text{mg l}^{-1}$ ) y que el 47 % de las especies fueron indiferentes a las variaciones del pH (7-9.3).

**Tabla 1.** Interpretación del Índice de Diatomeas Pampeano (IDP). El código de color asociado a las distintas calidades del agua se utiliza para su identificación gráfica en un mapa. Modificado de Gómez & Licursi (2001).

IDP	Clase de calidad del agua	Código de color
0-0.5	0: muy buena	Azul
>0.5-1.5	I: buena	Verde
>1.5-2	II: aceptable	Amarillo
>2-3	III: mala	Naranja
>3-4	IV: muy mala	Rojo

Del análisis de 164 muestras de diatomeas epipélicas procedentes de 50 sitios de muestreo y su relación con las variables físico-químicas obtenidas, se diseñó un índice denominado IDP (Índice de Diatomeas Pampeano). Para cada taxón se determinó un valor de sensibilidad a la polución y eutrofización (Gómez & Licursi, 2001). Este índice fluctúa entre 0 y 4, determinando 5 calidades del agua que van desde muy buena a muy mala a las que se les asignan distintos colores para su identificación gráfica en un mapa (Tabla 1). Los resultados del IDP obtuvieron un  $r^2$  altamente significativo con las principales variables físico-químicas del agua relacionadas con el enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes ( $\text{DBO}_5$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ).

Con relación al fitoplancton se exploraron variables taxonómicas y estructurales como descriptores de los cambios en la calidad del agua y de discontinuidades hidráulicas en el arroyo Rodríguez (Fig. 1); resultados parciales de estos estudios se encuentran en Bauer *et al.* (2002a). Este arroyo en su recorrido presenta calidad del agua desde aceptable, en cercanías a su cabecera, hasta muy mala aguas abajo. Asimismo una laguna artificial le impone a este curso de agua cambios en los tiempos de residencia.

Los descriptores del fitoplancton seleccionados para detectar estos cambios fueron los grandes grupos taxonómicos, la fisonomía (forma de crecimiento), tamaño celular, diversidad, equitabilidad, número de especies y densidad celular. Las correlaciones entre éstos y las principales variables relacionadas con la calidad del agua mostraron distinto grado de significación (Tabla 2). Estos estudios evidenciaron el carácter integrador del fitoplancton, que es capaz de alcanzar un buen desarrollo en sistemas lóticos de bajo gradiente, como el arroyo Rodríguez, reflejando diferencias físicas, químicas e hidráulicas causadas por los diferentes usos de la tierra.

De acuerdo a Bauer *et al.* (2002b), si se considera la composición hidroquímica de los ríos y arroyos estudiados (Fig. 1) se pueden reconocer tres grupos de sistemas lóticos que se detallan a continuación. El grupo A, con aguas bicarbonatadas ricas en calcio y magnesio, integrado por los arroyos cuyas nacientes se ubican en las sierras de Tandil. El grupo B, con aguas más ricas en cloruros, sulfatos, sodio, magnesio y calcio, constituido por estaciones de muestreo ubicadas en la depresión del Río Salado. El grupo C, con aguas comparativamente más carbonatadas que los grupos precedentes, que corresponden a arroyos cercanos a la ciudad de La Plata (Tabla 3).

La combinación de la información aportada por las algas a través del IDP, el número de células del fitoplancton (como indicador de eutrofización, Margalef, 1983) y un índice de macroinvertebrados, denominado IBPAMP (Índice Biótico Pampeano; Rodrigues Capítulo *et al.*, 2001) que responde a la diversidad y calidad de los hábitats, permitieron realizar una primera aproximación en la determinación de 5 calidades biológicas de las aguas corrientes pampeanas. Estas se relacionaron con las

**Tabla 2.** Significación de las correlaciones entre los descriptores del fitoplancton y las principales variables que determinan la calidad del agua en el A° Rodríguez. Las correlaciones con una significación de  $p \leq 0.01$  se señalan con + (correlación positiva) o - (correlación negativa). Los casilleros vacíos corresponden a correlaciones de menor significación. Datos extraídos de Bauer *et al.* (2002a).

	Conductividad	Turbidez	$\text{DBO}_5$	PRS	$\text{N-NO}_3^-$
Densidad total (cél. $\text{ml}^{-1}$ )				+	
Algas $<10 \mu\text{m}$ (cél. $\text{ml}^{-1}$ )	+		+	+	
Número de especies					+
Diversidad ( $H'$ , bits $\text{ind.}^{-1}$ )				-	
Equitabilidad ( $E_1$ )				-	
Euglenofitas (cél. $\text{ml}^{-1}$ )	-	+	-		
Clorofitas (cél. $\text{ml}^{-1}$ )	+			+	
Unicelulares flageladas (cél. $\text{ml}^{-1}$ )	-	+	-	-	
Coloniales (cél. $\text{ml}^{-1}$ )					
Cenobiales (cél. $\text{ml}^{-1}$ )					
Unicelulares no móviles (cél. $\text{ml}^{-1}$ )	+		+	+	

**Tabla 3.** Estados ecológicos para arroyos y ríos de la Provincia de Buenos Aires. (Características físico-químicas\*: Grupo A, aguas bicarbonatadas ricas en calcio y magnesio; Grupo B, aguas más ricas en cloruros, sulfatos, sodio, magnesio y calcio; Grupo C, aguas comparativamente más carbonatadas que los grupos precedentes). Modificada de Bauer *et al.* (2002b).

	Estados Ecológicos			
Grado	1	2	3	4
Valores del IDP	≤1.5	>1.5-2	>2-3	>3-4
Fitoplancton (cél. ml <sup>-1</sup> )	≤100	>100-1.000	>1.000-100.000	>100.000
Valores del IBPAMP	13-7	<7-6	<6-5	<5-1
Características físico-químicas*	A*	B*	C*	A-B-C*
Calidad del agua	Sin polución hasta ligeramente poluida	Moderadamente poluida	Fuertemente poluida	Muy fuertemente poluida
Actividad antrópica	Agricultura y ganadería escasas	Agricultura y ganadería moderadas	Agricultura, ganadería, actividad industrial y asentamientos humanos moderados	Actividad industrial intensa y/o importante población humana

características físico-químicas, lo que condujo a definir cuatro estados ecológicos (Bauer *et al.*, 2002b) (Tabla 3). Estos resultados evidenciaron que más del 50 % de las estaciones de muestreo analizadas, localizadas en los arroyos cercanos a la ciudades de La Plata, Buenos Aires y la cuenca media del arroyo Tandileofú, presentaron condición ecológica mala a muy mala.

En los estudios fitoplanctónicos realizados en la Franja Costera Sur del Río de la Plata abarcando 1032 km<sup>2</sup> y llevados a cabo entre los años 1993 y 1997, se incluyeron 64 estaciones de muestreo distribuidas en 16 transectas perpendiculares a la costa. Resultados de estas investigaciones figuran en Gómez & Bauer (1997, 1998a, b, 2000) y Gómez *et al.* (2002) y se resumen en la Tabla 4. Datos relacionados con la composición específica, abundancia, distribución espacial, estructura de tamaños, biomasa y diversidad permitieron ampliar los conocimientos sobre la ecología del fitoplancton en esta franja del Río de la Plata y relacionarla con la calidad del agua del sector analizado. La estructura fitoplanctónica estuvo caracterizada por el predominio de unas pocas especies, comunes a toda esta zona del Río de la Plata, con la dominancia de la fracción nanoplanctónica. En zonas cercanas a la costa se observó un incremento en la diversidad debido al aporte de los tributarios. Las diatomeas fueron el grupo fitoplanctónico mejor representado por su frecuencia y en algunas ocasiones por su abundancia. Estas, favorecidas por poseer un bajo umbral de saturación de la luz (Reynolds, 1995), son exitosas en un ambiente con una importante carga de sólidos en suspensión como la que presenta este río. Otros grupos menos frecuentes pero abundantes fueron las clorofitas, parti-

cularmente las clorococales y ulotricales. El desarrollo de cianobacterias en el río evidenció un marcado incremento en densidad, comparado con los resultados reportados por Guarrera (1950). Algunas cianobacterias pueden ser favorecidas por la disponibilidad de nutrientes y en determinadas situaciones por la estabilidad de la columna de agua. La reiteración de floraciones de *Microcystis aeruginosa* Kützinger en el transcurso de estos años de estudio pone en evidencia la necesidad de un cauteloso control de esta especie, ya que algunas de sus cepas pueden producir toxicidad en el medio. Por otra parte, los estudios de variación espacial permitieron identificar estaciones de muestreo con problemas de contaminación más severos como las ubicadas en la desembocadura de los ríos Luján y Matanza-Riachuelo, canales Santo Domingo y Sarandí y la estación de muestreo situada en cercanías de la descarga cloacal en Berazategui (Gómez & Bauer, 1998b). Asimismo se advirtió una disminución en la abundancia y diversidad de los taxa con respecto a lo reportado por Guarrera (1950) y Guarrera & Kühnemann (1951-1952). Estas investigaciones demuestran el valor indicador del fitoplancton, que se expresa a mediana y gran escala, y su utilidad como herramienta biológica capaz de contribuir al diagnóstico del estado ecológico de este río.

#### *Estudios intensivos*

Entre las experiencias *in situ*, los estudios de traslocación de comunidades de sitios no poluidos a poluidos y *vice versa* permiten conocer los efectos del estrés sobre algunas comunidades acuáticas y evaluar su capacidad de recuperación (resiliencia y

## N. Gómez *et al.*, Utilización de microalgas en la evaluación y monitoreo de sistemas lóticos

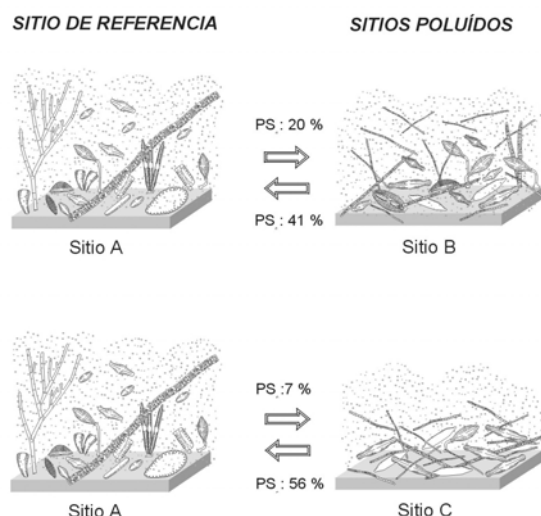
**Tabla 4.** Densidad y diversidad medias del fitoplancton, entre paréntesis mínimos y máximos, de las campañas realizadas en la Franja Costera Sur del Río de la Plata. Las especies dominantes se designan con siglas, ANSPI: *Anabaena spiroides*, AUAMB: *Aulacoseira ambigua*, AUGRA: *A. granulata*, AGANG: *A. granulata* var. *angustissima*, DICP+S: *Dictyosphaerium pulchellum* + *D. subsolitarium*, DSUBS: *D. subsolitarium*, METEN: *Merismopedia tenuissima*, MICAE: *Microcystis aeruginosa*, STHAN: *Stephanodiscus hantzschii*, ULSUB: *Ulothrix* cf. *subconstricta*. Extraído de Gómez & Bauer (2000).

Año	1993	1994	1995	1996	1997
Nº de campañas	1	1	3	2	3
Nº de especies	106	126	100	56	73
Densidad (cél. ml <sup>-1</sup> )	211 (10 -1.123)	261 (11-3.700)	38 (0-1.072)	228 (0-2.848)	179 (0-6.899)
Diversidad (bits ind. <sup>-1</sup> )	1,2 (0,5-1,9)	2,1 (0,5-2,8)	0,9 (0-2,6)	1,1 (0-2,1)	0,9 (0-2,1)
Especies dominantes	AUGRA AGANG	AGANG DICP+S AUGRA MICAE STHAN	AGANG ULSUB AUGRA AUAMB ANSPI DSUBS	AGANG AUAMB ANSPI ULSUB DSUBS	AGANG ULSUB AUGRA AUAMB METEN

resistencia). Tolcach & Gómez (2002) analizaron los cambios en la composición específica, estructura y biomasa en comunidades microbentónicas expuestas a efluentes industriales y vertidos domiciliarios en el A° Don Carlos. Los biofilms empleados para estas experiencias se desarrollaron sobre láminas de acetato sujetas a ladrillos, los cuales fueron emplazados en el lecho del arroyo en tres estaciones de muestreo con distintas calidades del agua (sitio A: aceptable; sitio B: mala; sitio C: muy mala). Después de tres semanas de colonización se procedió a la traslocación de parte de los sustratos provenientes de los sitios más poluidos a menos poluidos y *vice versa* (Fig. 3), permaneciendo otros como sustratos control. En estos biofilms las microalgas fueron un componente conspicuo, manifestando cambios importantes en su composición, estructura y tolerancia a los factores de estrés. Los resultados obtenidos, al cabo de dos semanas de traslocados, demostraron que los biofilms transplantados de sitios de referencia (A) a poluidos (B y C) pierden más rápidamente las características del microbentos del lugar de origen cuanto mayor es la contaminación del sitio destino. En tal sentido se observó que el porcentaje de similitud entre la comunidad del sitio A y la del sitio B es de 20 % y entre el A y el C es de 7 % (Fig. 3). Asimismo cabe señalar que cuando los trasplantes son en el sentido inverso (de sitios poluidos al de referencia) la comunidad mantiene en mayor proporción la identidad adquirida en el sitio de procedencia cuanto mayor es la polución en éste. Así, las microcomunidades provenientes del sitio C (con una mayor concentración de metales pesados) mantienen un 56 % de similitud con los sustratos control de

dicho sitio, mientras que la del sitio B sólo el 41 % (Fig. 3). Asimismo el análisis microscópico reveló la presencia de deformaciones en frústulos de *Pinnularia gibba* en muestras provenientes de los sitios más contaminados especialmente con metales pesados (B y C) (Gómez & Licursi, en prensa).

En el Río de la Plata, Hualde *et al.* (en prensa) también emplearon sustratos artificiales con el fin de evaluar la calidad del agua en la costa bonaerense. Estos sustratos consistieron en cilindros de acetato que fueron desgastados para simular la rugosidad del sustrato natural, *Scirpus californicus* (Mey) Sójak, y sujetos a la base del mismo mediante grampas (Fig. 4). Los sustratos artificiales fueron reposicionados semanalmente con la finalidad de contrarrestar su desplazamiento como consecuencia del crecimiento del junco. Los sitios seleccionados para realizar estas experiencias fueron una zona afectada por efluentes cloacales en la localidad de Berisso y otra exenta de dicha perturbación, considerada como de referencia. Las medidas de integridad biótica empleadas para estos estudios fueron: proporción de grupos taxonómicos, sensibilidad de las diatomeas a la polución (Gómez, 1998, Gómez & Licursi 2001, Licursi & Gómez 2002) e índices bióticos como: índice de diversidad (Shannon & Weaver, 1963), Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) (Gómez & Licursi, 2001), Índice Poluto Sensible (IPS), Índice de Descy (ID) e Índice Saprobico (IS, Descy & Coste, 1990). Los resultados obtenidos permitieron apreciar que los descriptores que mejor reflejaron la calidad del agua fueron los relacionados con la estructura comunitaria (abundancia de diatomeas, cianofitas y ciliados, densidad total, número de especies, diver-



**Fig. 3.** Experiencias de traslocación de sustratos artificiales realizadas en tres sitios de muestreo en un arroyo pampeano. Sitio **A** (referencia) calidad del agua aceptable; **B**: calidad del agua mala; **C**: calidad del agua muy mala. Porcentaje de Similitud de la composición específica ( $PS_c$ ) entre los biofilms expuestos a distintos tipos de contaminación después de dos semanas de traslados. Las flechas indican el sentido de las traslocaciones. Datos provenientes de Tolcach & Gómez (2002).

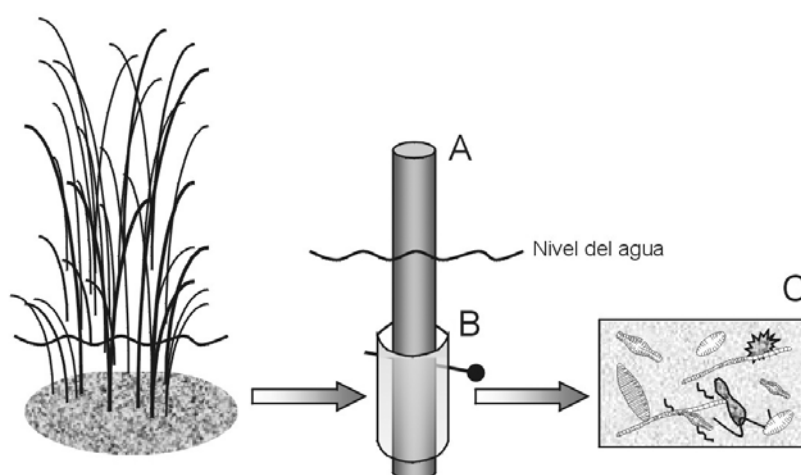
sidad y equitabilidad) y entre los índices bióticos el IDP (Tabla 5). Los sustratos artificiales permitieron una evaluación de la calidad del agua a una escala de tiempo más amplia que la ofrecida por el sustrato natural. En los sustratos artificiales la superficie disponible para la colonización por los microorganismos es la misma a lo largo del estudio ya que no está sujeta a los desplazamientos ocasionados por el cre-

**Tabla 5.** Descriptores biológicos utilizados en el estudio de biofilms desarrollados sobre sustratos artificiales en el Río de la Plata.  $H'$ : índice de diversidad de Shannon & Weaver; E: equitabilidad; IPS: Índice Poluto Sensible (1-2 polución muy fuerte; >4 poca polución); ID: Índice de Descy (1-2 Polución muy fuerte; >4 poca polución); IS: Índice Sapróbico (0: estado cataróxico; 1.5- 3.5 estado mesosapróbico); IDP: Índice de Diatomeas Pampeano (0: calidad del agua muy buena; >2: calidad del agua mala); S: especies sensibles a la polución, T: tolerantes, MT: muy tolerantes. Extraído de Hualde *et al.* (en prensa).

	Sitio de referencia	Sitio poluído
Diatomeas (cél. $cm^{-2}$ )	3.243	4.223
Cianofitas (cél. $cm^{-2}$ )	37	131
Ciliados (org. $cm^{-2}$ )	11	250
Total (org. $cm^{-2}$ )	3.291	4.604
Nº de especies	42	39
$H'$ (bits ind. $^{-1}$ )	3,08	2,57
E	0,82	0,70
IPS	2,53	2,03
ID	3,45	2,76
IS	1,98	2,07
IDP	1,85	2,71
S (% abundancia)	28	8
T (% abundancia)	52	64
MT (% abundancia)	20	28

cimiento de la hidrófita, lo que constituye una ventaja para el biomonitoreo respecto al sustrato natural.

En investigaciones sobre fitoplancton realizadas por Bauer *et al.* (2002 c) con el fin de estudiar la pluma de contaminación del río Matanza-Riachuelo en el Río de la Plata, se extrajeron muestras de agua en 17 estaciones de muestreo. También se implementó una experiencia *ex situ* que consistió



**Fig. 4.** Empleo de sustratos artificiales en el Río de la Plata. A: detalle de la porción basal del junco empleado como soporte, B: acetato sujeto al tallo por medio de una grampa, C: sustrato artificial colonizado para su análisis.



en un test de inhibición del crecimiento algal llevado a cabo con un monocultivo de *Raphidocelis subcapitata* Korschikov. Los cultivos de laboratorio realizados con el agua del Matanza-Riachuelo permitieron advertir, entre otros cambios, la deformación celular de algunos especímenes y la producción de abundante mucílago no observados en los controles (Fig. 5). La producción de mucílago es reconocida en la bibliografía como una respuesta a factores de estrés ambiental (Marsálek & Rojicková, 1996). El análisis de las muestras de fitoplancton permitió identificar la distribución espacial del mismo en relación a la pluma de contaminación, en tanto que los bioensayos mostraron el efecto del estrés a nivel celular, complementando la información anterior.

### PERSPECTIVAS DE LOS ESTUDIOS

La información sobre las asociaciones algales, estudiadas con distintas escalas de tiempo y espacio, ha permitido una primera aproximación en la evaluación del estado de las cuencas en el área estudiada. Sin embargo se necesita acrecentar los conocimientos, particularmente los relacionados con los aspectos funcionales de las microalgas, e intensificar los estudios causa-efecto en campo y laboratorio. Esto permitirá explorar las respuestas de las algas al conjunto de factores que operan en el ambiente, o bien a variables específicas bajo condiciones controladas en laboratorio. Ello contribuirá a la selección de descriptores bióticos eficaces en el diagnóstico de la calidad del agua, y por lo tanto a una deter-

minación más completa de los estados biológicos. De esta manera será posible perfeccionar el diagnóstico de la calidad ecológica de ríos y arroyos pampeanos incluido el Río de la Plata.

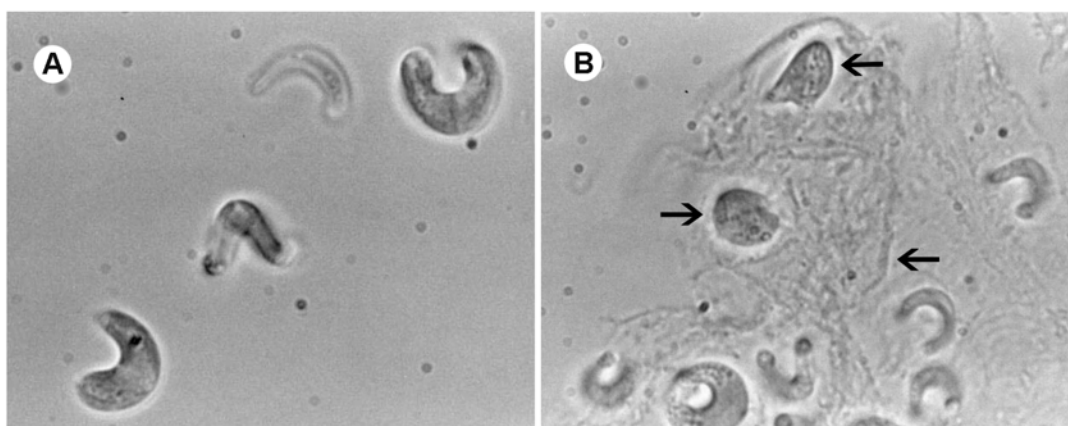
Finalmente, la integración de la información obtenida en el área de estudio podrá ser extrapolada a otras zonas de la región pampeana, con características semejantes. Esto favorecerá la implementación de sistemas de biomonitoreo con herramientas adecuadas que incorporen el uso de las microalgas en los protocolos para evaluar la calidad del agua.

### AGRADECIMIENTOS

Esta contribución está dedicada al Dr. S. A. Guarrera destacado investigador y profesor que contribuye no sólo al conocimiento de nuestra flora ficológica sino también a la formación de investigadores dedicados a esta especialidad. Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. E. Kruse por su asesoramiento sobre aspectos hidrológicos de las cuencas bonaerenses.

### BIBLIOGRAFÍA

- APHA, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Washington DC.
- BAUER, D. E., M. E. CONDE & N. GÓMEZ. 2002a. Phytoplankton of a small lowland stream related to water quality and hydraulic discontinuities. *Arch. Hydrobiol.* 153: 421-442.



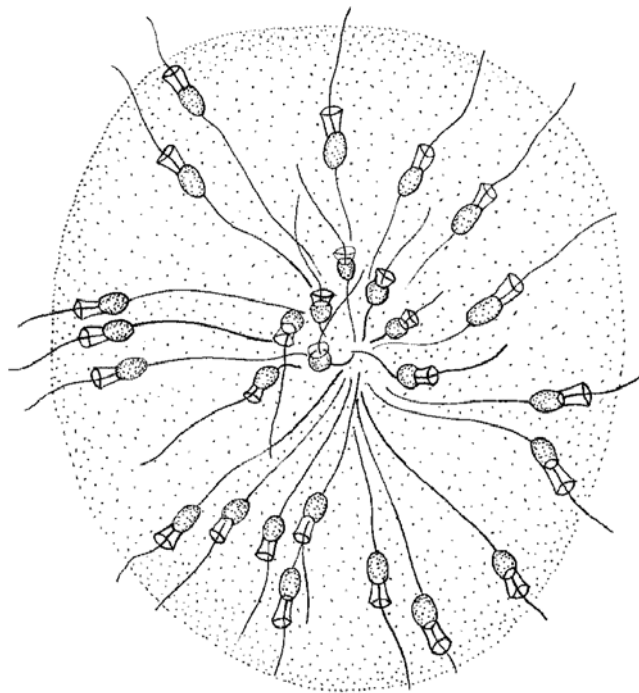
**Fig. 5.** Fotomicrografías (1.000 x) de *Raphidocelis subcapitata* en el cultivo control, (A) y en el cultivo realizado con agua del Riachuelo (B) las flechas señalan las células con alteraciones morfológicas y el mucílago secretado.

- BAUER, D. E., J. DONADELLI, N. GÓMEZ, M. LICURSI, C. OCÓN, A. C. PAGGI, A. RODRIGUES CAPÍTULO & M. TANGORRA. 2002b. Ecological status of pampean plain streams and rivers. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 259-262.
- BAUER, D. E., N. GÓMEZ, L. JANOT & J. LÓPEZ. 2002c. El fitoplancton y su valor diagnóstico en la influencia del Riachuelo sobre el Río de la Plata. *Segundas Jornadas de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos*. La Plata, Argentina. Resúmenes: 34.
- CRAIG, D. 2002. A new view of the river continuum concept. *Bull. North. Amer. Benthol. Soc.* 19: 380-381.
- DESCY, J. P. & M. COSTE. 1990. *Utilisation des diatomees benthiques pour l'évaluation de la qualité des eaux courants*. Rapport Final, EC contract B-71-23.
- FRENGUELLI, J. 1941. Diatomeas del Río de la Plata. *Revista Mus. La Plata, Secc. Bot.* 3: 213-334.
- GÓMEZ, N. 1998. Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza-Riachuelo (Argentina), a Pampean plain river. *Water Res.* 32: 2029-2034.
- GÓMEZ, N. 1999. Epipellic diatoms from the Matanza-Riachuelo river (Argentina), a highly polluted basin from the Pampean plain: biotic indices and multivariate analysis. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* 2: 301-309.
- GÓMEZ, N. & D. E. BAUER. 1997. Fitoplancton. In: Consejo Permanente para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata (ed.), *Calidad de las aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata (San Fernando-Magdalena)*. Buenos Aires.
- GÓMEZ, N. & D. E. BAUER. 1998a. Coast phytoplankton of the Río de la Plata river and its relation to pollution. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1032-1036.
- GÓMEZ, N. & D. E. BAUER. 1998b. Phytoplankton from the Southern Coastal Fringe of the Río de la Plata (Buenos Aires, Argentina). *Hydrobiology* 380: 1-8.
- GÓMEZ, N. & D. E. BAUER. 2000. Diversidad fitoplanctónica en la Franja Costera Sur del Río de la Plata. *Biol. Acuát.* 19: 7-26.
- GÓMEZ, N., D. E. BAUER, M. LICURSI & P. R. HUALDE. 2002. Planktonic and periphytic coastal algae of the Río de La Plata, Argentina. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 250-253.
- GÓMEZ, N. & M. LICURSI. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquat. Ecol.* 35: 173-181.
- GÓMEZ, N. & M. LICURSI. In press. Abnormal forms in *Pinnularia gibba* (Bacillariophyceae) in a polluted lowland stream from Argentina. *Nova Hedwigia*.
- GUARRERA, S. A. 1950. Estudios hidrobiológicos en el Río de la Plata. *Revista Inst. Nac. Invest. Cs. Nat., Bot.* 2: 1-62.
- GUARRERA, S. A., S. M. CABRERA, F. LÓPEZ & G. TELL. 1968. Fitoplancton de las aguas superficiales de la Provincia de Buenos Aires I. Area de la pampa deprimida. *Revista Mus. La Plata, Secc. Bot.* 10 (49): 223-331.
- GUARRERA, S. A. & O. KÜHNEMANN. 1951-1952. Limnoplankton del Río de la Plata. *Revista O. S. N.* 141: 234-251, 142: 23-43, 143: 70-86, 144: 10-21, 145: 112-120, 146: 24-25.
- GUARRERA, S. A., L. MALACALZA & F. LÓPEZ. 1972. Fitoplancton de las aguas superficiales de la Provincia de Buenos Aires 2. Complejo lagunar Salada Grande; Encadenadas del Oeste y Encadenadas del Sur. *Revista Mus. La Plata, Secc. Bot.* 13 (67): 161-219.
- HUALDE, P. R., M. LICURSI & N. GÓMEZ. En prensa. Biofilms como indicadores de la calidad del agua en el Río de la Plata. *Actas del V Congreso Latinoamericano de Ecología*.
- LICURSI, M. & N. GÓMEZ. 2002. Benthic diatoms and some environmental conditions in three lowland streams. *Ann. Limnol.* 38: 109-118.
- LOEZ, C. R. & M. L. TOPALIÁN. 1999. Use of algae for monitoring rivers in Argentina with a special emphasis for the Reconquista river (region of Buenos Aires). In: J. PRYGIEL, B. A. WHITTON & J. BUKOWSKA (eds.) *Use of algae for monitoring rivers III*. pp. 72-83.
- MACKERETH, F. J. H., J. HERON & J. F. TALLING. 1978. *Water Analysis: Some revised methods for limnologists*. *Freshwater Biological Association, Scientific Publication* N° 36, pp. 120.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona.
- MARSÁLEK, B. & R. ROJICKOVÁ. 1996. Stress factors enhancing production of algal exudates: a potential self-protective mechanism? *Ver. Zeits. Naturforsch.*: 646-650.
- PRYGIEL, J., B. A. WHITTON & J. BUKOWSKA. (eds.) 1999. *Use of algae for monitoring rivers III*. Proc. III International Symposium. Douai, France.
- REYNOLDS, C. S. 1995. River Plankton: The Paradigm Regained. In: HARPER, D. M. & A. J. D. FERGUSON (eds.), *The ecological basis for river management*. John Wiley & Sons, Chichester.
- RODRIGUES CAPÍTULO, A., M. TANGORRA & C. OCÓN. 2001. Use of benthic macroinvertebrates to assess the biological status of pampean streams in Argentina. *Aquat. Ecol.* 35: 109-119.
- SALA, J. M., N. GONZÁLEZ & E. E. KRUSE. 1983. Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires (pp.975-1009). In: PREGO, J. (ed.), *Coloquio Internacional sobre hidrología de grandes llanuras*, pp. 11-20. Olavarría, Argentina.
- SHANNON, C. E. & W. WEAVER. 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana.
- STEVENSON, R. J. & L. BAHLS. 1999. Periphyton Protocols. In: EPA (ed.), *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Streams and Rivers. Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. Second Ed., Washington.

N. Gómez *et al.*, Utilización de microalgas en la evaluación y monitoreo de sistemas lóticos

- TABATABAI, M. A. 1974. Determination of Sulphate in Water Samples. *Sulphur Inst. J.* 10: 10-18.
- TOLCACH, E. R. & N. GÓMEZ. 2002. The effect of translocation of microbenthic communities in a polluted lowland stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 254-258.
- VANOTTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL. & C. E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- WHITTON, B. A. & E. ROTT. (eds.). 1996. *Use of algae for monitoring rivers II*. Proc. II International Symposium. Innsbruck Austria. Studia student. G m. b. H., Innsbruck.
- WHITTON, B. A., E. ROTT & G. FRIEDRICH. (eds.). 1991. *Use of algae for monitoring rivers*. Proc. International Symposium. E. Rott – Studia Innsbruck. Dusseldorf.

Recibido el 03 de Marzo de 2003, aceptado el 17 de Mayo de 2003.



*Sphaeroeca laxa* Guarrera

